

# Wskaźnik wilgotności powietrza jako kompleksowy opis zmienności wilgotności powietrza w Krakowie

Air humidity index as the complex description  
of the air humidity variability in Cracow

Agnieszka Wypych<sup>1</sup>

**Zarys treści:** Wilgotność powietrza jest charakteryzowana przez różne parametry, z których żaden nie ujmuje w sposób syntetyczny zmienności tego elementu meteorologicznego. Zastosowanie wskaźnika (wskaźnik wilgotności powietrza – WWP), opartego na odchyleniach od średnich miesięcznych wartości wybranych parametrów wilgotności powietrza, pozwala na pełne opisanie warunków wilgotnościowych panujących w danym przedziale czasowym. Wieloletni przebieg wskaźnika wilgotności powietrza (WWP) w Krakowie potwierdza jednoznacznie, że minione stulecie należało do wilgotnych. Przez ponad pół wieku dominowały wartości przewyższające średnie wieloletnie. Ostatnie 30 lat XX w., odznaczające się wilgotnością znacznie niższą od przeciętnej, przyczyniło się do istotnego statystycznie wysuszenia powietrza w Krakowie, co jest widoczne przede wszystkim wiosną (kwiecień) i jesienią (październik).

**Słowa kluczowe:** wilgotność powietrza, wskaźnik wilgotności powietrza, zmienność wieloletnia, Kraków

**Key words:** air humidity, air humidity index, long-term variations, Cracow

## Wstęp

W ostatnich dekadach XX w., ze względu na występujące w różnych częściach świata anomalie klimatyczne (ulewne deszcze, susze, huraganowe wiatry itp.), wzrosło zainteresowanie społeczeństwa zagadnieniami współczesnych zmian klimatu. Globalne przemiany środowiska przyrodniczego, a także wzrost temperatury powietrza są związane przede wszystkim z silną antropopresją. Powołany w końcu lat 80. XX w. Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) po analizach badań prowadzonych na całym świecie orzekł, że obserwowane zmiany klimatyczne są wynikiem oddziaływania zarówno czynników naturalnych, jak i antropogenicznych.

<sup>1</sup> Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, e-mail: awypych@geo.uj.edu.pl

Systematyczny wzrost średniej rocznej temperatury powietrza ma miejsce również w Krakowie, przy czym decydującą rolę odgrywa temperatura miesięcy zimowych, odznaczających się wyraźnym trendem dodatnim w przebiegu temperatury (Trepieńska, Kowanetz 1997). Niestety różnorodność parametrów wilgotności, z których jedne opisują cechy fizyczne pary wodnej jako gazu stanowiącego składową powietrza, inne zaś charakteryzują stopień nasycenia powietrza parą wodną, praktycznie uniemożliwia udzielenie syntetycznej odpowiedzi na pytanie o zmienność warunków wilgotnościowych powietrza.

Celem niniejszej pracy jest próba dokonania syntetycznej analizy wieloletniej zmienności warunków wilgotnościowych oraz określenia wpływu rozbudowy miasta na jej przebieg. Opracowano metodę klasyfikacji lat „wilgotnych” i „suchych” na podstawie prostego wskaźnika, opartego na wartościach średnich oraz liczbie dni charakterystycznych w poszczególnych latach. Podstawą analizy były dane z lat 1901-2000 pochodzące ze Stacji Historycznej Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. Wykorzystano miesięczne wartości wilgotności względnej i niedosytu wilgotności oraz terminowe (pomiar południowy) niedosytu wilgotności powietrza, obliczone ze wskazań psychrometru Augusta według wzorów A. Rojeckiego (1959). Na ich podstawie zestawiono także liczby dni o charakterystycznych warunkach higrycznych (dni suche, dni bardzo wilgotne, dni z niedosytem wilgotności w godzinach południowych nie mniejszym niż 10,0 hPa).

## Wieloletnia zmienność wilgotności powietrza

Zmienność wilgotności powietrza w Krakowie potwierdzają wieloletnie przebiegi wilgotności względnej i niedosytu wilgotności powietrza (ryc. 1). W XX w. odnotowano istotny statystycznie ( $\alpha=0,05$ ) spadek wilgotności względnej (6%/100 lat) oraz wzrost niedosytu wilgotności powietrza (1,4 hPa/100 lat). Prężność pary wodnej wykazuje zmienność nieistotną statystycznie (Wypych 2003a, 2003b, 2004).

Tendencją spadkową wilgotności względnej powietrza charakteryzowały się lata 1907-1911, lata 40. oraz przede wszystkim ostatnie 25 lat XX w., natomiast przez blisko pół wieku (do 1968 r.) utrzymywały się wartości wyższe od średniej wieloletniej. Lata 1930-1960 były zdecydowanie bardziej wilgotne niż początek i ostatnie dekady XX w. Na wspomniany okres przypada większość odnotowanych skrajnych wartości, m.in.  $f_{\min}$ ,  $d_{\max}$  (tab. 1). Systematyczny spadek wilgotności, który wpłynął zdecydowanie na znak tendencji wieloletniej, pojawił się dopiero w drugiej połowie stulecia (ryc. 1). Od lat 70. XX w. następuje także znaczny wzrost liczby dni z wilgotnością względną powietrza  $f \leq 55\%$  (tzw. dni suchych) oraz spadek liczby dni bardzo wilgotnych ( $f \geq 86\%$ ) (ryc. 2).

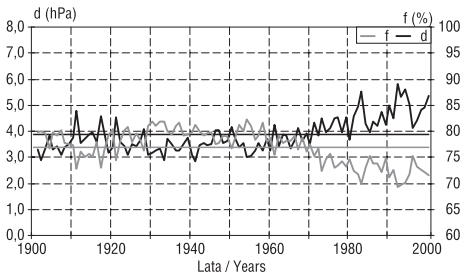
## Wskaźnik wilgotności powietrza

Brak parametru kompleksowo określającego wilgotność powietrza stanowi barierę dla wyjaśnienia jej wieloletniej zmienności. Próba rozwiązywania problemu jest zastosowanie wskaźnika, który opisuje w sposób syntetyczny warunki wilgotnościowe panujące w danym przedziale czasowym.

Tab. 1. Średnie wieloletnie oraz najwyższe (maks.) i najniższe (min.) średnie roczne wartości wybranych parametrów wilgotności powietrza, liczby dni charakterystycznych oraz wartości wskaźnika wilgotności powietrza (WWP) w Krakowie (1901-2000)

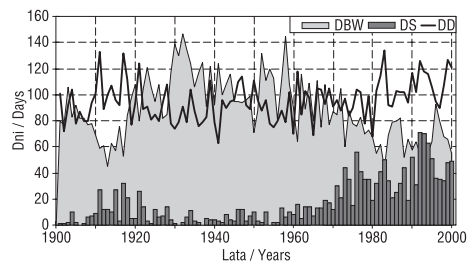
Table 1. Long-term mean values and the highest (max) and the lowest (min) annual mean values of selected air humidity parameters, number of characteristic days and air humidity index values in Cracow (1901-2000)

	f (%)	d (hPa)	Dni suche Dry days	Dni bardzo wilgotne Very wet days	Dni z $d_{II} \geq 10,0$ hPa Days with $d_{II} \geq 10,0$ hPa	WWP Air humidity index
Średnia / Av.	76	3,9	17	89	95	2
Maks. / Max	81	5,8	71	147	134	38
Lata / Years	1930 1932 1933 1937 1954 1958	1992	1992	1932	1983	1933
Min. / Min	69	2,9	0	44	63	-47
Lata / Years	1992	1902 1933 1941	1906 1931 1937 1954	1983	1941	1983 1992



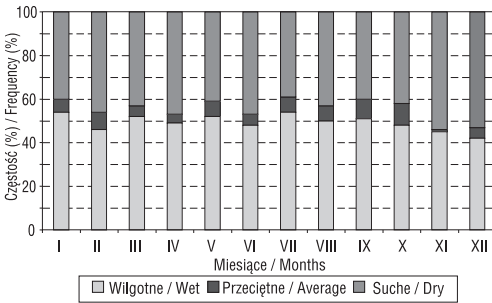
Ryc. 1. Przebieg wartości niedosytu wilgotności (d) i wilgotności względnej powietrza (f) w Krakowie (1901-2000). Linie proste – średnie wieloletnie wartości

Fig. 1. Course of saturation deficit (d) and relative air humidity (f) values in Cracow (1901-2000). Straight lines – long-term mean values



Ryc. 2. Przebieg liczby dni suchych (DS), dni bardzo wilgotnych (DBW) oraz dni z niedosytem wilgotności powietrza  $\geq 10,0$  hPa w południowym terminie pomiarowym (DD) w Krakowie (1901-2000)

Fig. 2. Course of number of dry days (DS), very wet days (DBW) and days with saturation deficit value  $\geq 10,0$  hPa measured at the noon observation time (DD) in Cracow (1901-2000)



Ryc. 3. Częstość występowania (%) miesięcy wilgotnych (WWP>0), przeciętnych (WWP=0) i suchych (WWP<0) w Krakowie (1901-2000) wyróżnionych w oparciu o wskaźnik wilgotności powietrza

Fig. 3. Frequency (%) of wet (AHI>0), average (AHI=0) and dry months (AHI<0) occurrence in Cracow (1901-2000) based on the air humidity index

- liczbą dni suchych (DS) – dni, w których średnia dobowa wilgotność powietrza nie przekroczyła 55%,
- liczbą dni bardzo wilgotnych (DBW) – dni ze średnią dobową wilgotnością względną powietrza  $\geq 86\%$ ,
- liczbą dni z niedosytem wilgotności powietrza (DD), którego wartość w godzinach południowych jest większa bądź równa 10,0 hPa ( $d_{II} \geq 10,0$  hPa).

Poszczególным wartościom nadano określoną wagę (tab. 2).

Tab. 2. Konstrukcja wskaźnika wilgotności powietrza na podstawie odchylenia od wartości średnich miesięcznych oraz liczby dni charakterystycznych wybranych parametrów wilgotności powietrza

Table 2. Air humidity index construction based on deviations from monthly mean values and number of characteristic days of selected air humidity parameters

Wilgotność względna powietrza (f) / Relative air humidity (f)					
Parametr Parameter	Waga Points	Liczba dni Number of days	Waga Points	Liczba dni Number of days	Waga Points
$f < f_{sr}$	-1	$DS < DS_{sr}$	-1	$DBW < DBW_{sr}$	-1
$f = f_{sr}$	0	$DS = DS_{sr}$	0	$DBW = DBW_{sr}$	0
$f > f_{sr}$	+1	$DS > DS_{sr}$	+1	$DBW > DBW_{sr}$	+1
Niedosyt wilgotności powietrza (d) / Saturation deficit (d)					
Parametr Parameter	Waga Points	Liczba dni Number of days	Waga Points		
$d < d_{sr}$	+1	$DD < DD_{sr}$	+1		
$d = d_{sr}$	0	$DD = DD_{sr}$	0		
$d > d_{sr}$	-1	$DD > DD_{sr}$	-1		

Analiza zmienności parametrów wilgotności powietrza oraz występowania dni charakterystycznych pozwoliła na opracowanie wskaźnika (wskaźnika wilgotności powietrza – WWP) opartego na odchyleniach od średnich wieloletnich wartości wybranych parametrów wilgotności powietrza (Wypych 2004). Wyrażony jest on przez liczby niemianowane, stanowiące sumę punktów przydzielonych poszczególnym składowym.

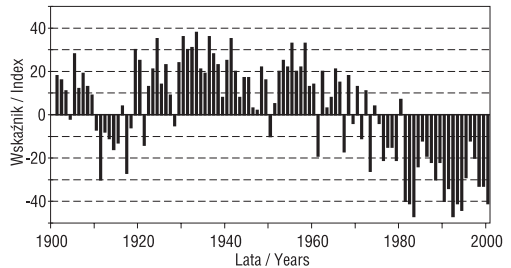
Ze względu na nieistotną statystycznie zmienność prężności pary wodnej do konstrukcji indeksu wykorzystano średnie miesięczne wartości wilgotności względnej oraz niedosytu wilgotności powietrza, wraz z ich szczegółowymi charakterystykami:

Wskaźnik wilgotności powietrza osiąga w kolejnych miesiącach w roku wartości od -5 do +5, roczna wartość wskaźnika jest ich sumą. Wskaźnik przyjmuje wartości ujemne, gdy powietrze jest suche,  $WWP > 0$  zaś świadczy o jego wysokiej wilgotności.

Analiza częstości występowania określonych wartości WWP (ryc. 3) wskazuje, że w minionym stuleciu dominowały wartości dodatnie wskaźnika (z wyjątkiem listopada i grudnia), co świadczy o dużej wilgotności powietrza.

Wieloletnie przebiegi miesięcznych wartości indeksu WWP odznaczają się znaczną zmiennością z roku na rok. We wszystkich miesiącach zaznacza się jednak spadek wilgotności powietrza w ostatnich 30 latach XX w., przerywany jedynie epizodami miesięcy wilgotnych, jakim był np. lipiec 1997 r. Istotny statystycznie spadek wartości WWP stwierdza się jedynie w kwietniu i w październiku.

Zmienność wieloletnia rocznych wartości WWP w Krakowie potwierdza, iż okresami wilgotnymi w XX w. była jego pierwsza dekada, a także lata 1919-1974, kiedy wskaźnik osiągał wartości dodatnie (ryc. 4). W ciągu ponad pół wieku dominacji lat wilgotnych zdarzały się pojedyncze przypadki ujemnej wartości wskaźnika. Najniższe dodatnie wartości WWP wystąpiły w latach 1946 i 1947 (odpowiednio: 3 i 2), wartości poniżej zera w 1950 r. (-10) oraz w latach 60. i 70. XX w. (do -24 w 1973 r.). Do najsuchszych w minionym stuleciu należy jego druga dekada – najniższą wartość WWP osiągnął w 1911 r.: -30 – oraz ostatnie ćwierćwiecze (od 1975 r.) – zwłaszcza początki lat 80. i 90.:  $WWP < -40$ . Przebieg wieloletni rocznej wartości indeksu WWP wykazuje istotną statystycznie ( $\alpha=0,05$ ) tendencję spadkową (ryc. 4).



Ryc. 4. Przebieg wartości wskaźnika wilgotności powietrza (WWP) w Krakowie (1901-2000)

Fig. 4. Course of air humidity index values (AHI) in Cracow (1901-2000)

## Wnioski

Na podstawie analizy przebiegów parametrów wilgotności powietrza, a także wskaźnika wilgotności powietrza (WWP) można stwierdzić, że w minionym stuleciu dominowały wartości świadczące o dużej wilgotności powietrza – przewyższające średnie wieloletnie. O wysuszeniu powietrza w Krakowie świadczą wartości występujące w ostatnich 25 latach XX w. przede wszystkim wiosną (kwiecień) i jesienią (październik).

Geneza coraz większej suchości powietrza w Krakowie leży prawdopodobnie w dynamicznym rozwoju miasta, jaki nastąpił po 1970 r. Wzrost gęstości zabudowy, rozbudowa sieci komunikacyjnej, pokrycie ulic i placów betonem i asfaltem doprowadziło do zmniejszenia powierzchni terenów zieleni, a tym samym do redukcji powierzchni retencyjnej wód opadowych i szybkiego spływu powierzchniowego, utrudniony został także przebieg procesów parowania i transpiracji.

Ze względu na różnorodność parametrów wilgotności, odmienne ich cechy i „wrażliwość” na oddziaływanie przede wszystkim czynników lokalnych, opracowanie wskaźnika wilgotności powietrza dało obraz zmienności wilgotności powietrza w Krakowie w XX w.

Praca częściowo wykonana w ramach Projektu Zamawianego przez Ministerstwo Środowiska PBZ-KBN-086/P04/2003.

## Literatura

- Rojecki A., 1959, *Tablice psychrometryczne*, Wyd. Komunikacyjne, Warszawa.
- Trepińska J., Kowanetz L., 1997, *Wieloletni przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Krakowie (1792-1995)*, [w:] *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995)*, J. Trepińska (red.), Inst. Geogr. UJ, Kraków, 99-130.
- Wypych A., 2003a, *Long-Term Course of the Relative Air Humidity in Cracow (1901-2000)*, Acta Univ. Wratislaviensis, 2542, Studia Geogr., 75, 171-179.
- Wypych A., 2003b, *Vapour pressure variability in Cracow in the 20<sup>th</sup> century*, 5<sup>th</sup>, International Conference on Urban Climate, 1-5 IX 2003, Łódź, Book of Abstracts, 220.
- Wypych A., 2004, *Zmienność wilgotności powietrza w Krakowie (1901-2000)*, Praca doktorska, Archiwum Zakładu Klimatologii IGiGP UJ, Kraków.

## Summary

A variety of parameters affect air humidity, none of which provides a complete answer to the question of variability of this meteorological factor. A good approach to solving this problem is to use an index that would most fully describe the humidity conditions prevailing in a given period. An index was created (air humidity index – AHI) for the purposes of this work. The index was based on departures of selected air humidity parameters from monthly mean values.

Long-term variability of this AHI in Cracow confirmed that the first decade of the 20<sup>th</sup> century and the period 1919-1974 were wet periods, when the index values were positive. During the period of over half a century when wet years predominated, there were single occurrences of low values of the index (AHI). The second decade of the 20<sup>th</sup> century, when AHI reached its lowest value (-30 in 1911) and the last quarter of the century (from 1975, in particular the early 1980s and 1990s), when there were AHI < -40, belonged to the driest periods in the last century. The long-term variation of AHI's values showed a statistically significant downward (for  $\alpha = 0.05$ ) trend.

The increasing dryness of the air in Cracow originated probably in the dynamic development of the city that took place after 1970. The growing density of built up area and the expanding street network with streets and squares paved with concrete and tarmac has reduced the acreage of green areas in the city, thus reducing retention areas and promoting fast drainage of surface runoff, as well as inhibiting evaporation and transpiration processes.